

Попов В.П.

МИРОВОЗЗРЕНЧЕСКИЙ ХАОС ВОКРУГ ЭНТРОПИИ

Северо-Кавказский федеральный университет

Рассмотрены различные определения энтропии и информации. Показано, что надёжным методом оценки упорядоченности системы является наблюдение за её эффективностью, адаптивностью, выживаемостью за длительный в эволюционном плане период времени.

Ключевые слова: система, информация, энтропия, взаимодействие, термодинамика, хаос.

Впервые функция состояния молекулярной системы «энтропия» эмпирически было выведена Клаузиусом в 1865 г. Эта функция $S = Q/T$ (Q — теплота, T — температура) трактуется как часть внутренней энергии системы, которая не может быть переведена в работу из-за хаотичности молекулярной системы [1, 2]. Греческий корень «*τροπή*» означает прокладывать путь. Энтропия может быть истолкована как отсутствие четкого пути, неопределённость, «увёртка, уловка, оборот, поворот».

Л. Больцман (1872 г.), решая уравнения статистической физики для идеального газа, вывел другое выражение энтропии $S = K \ln W$, где K — константа; W — термодинамическая вероятность (количество перестановок молекул газа, не влияющее на макро состояние системы) [1, 2]. Чем больше возможных перестановок, тем больше хаоса, тем выше энтропия.

Энтропии Клаузиуса и Больцмана отличаются по нескольким показателям. По мнению Штеренберга [3], в формуле Клаузиуса энергия есть сумма кинетической, потенциальной и других видов энергий. Больцман для упрощения формулы принял математическую модель идеального газа Максвелла, молекулы которого при столкновении отскакивают друг от друга подобно бильiardным шарам. Таким образом, Больцман в своих расчётах, принимал во внимание только кинетическую энергию движения молекул, а вращательные, колебательные и деформационные формы движения молекул игнорировались. Этот факт искажает представления о реальности, т.к. **природные системы не могут существовать без взаимодействий.**

Как любой закон, термодинамика должна иметь ограничения. Её нельзя расширять на весь Мир. Кроме того, все законы термодинамики носят статистический характер и «работают» только во множествах, где элементами являются атомы или молекулы, причём при высокой плотности вещества. Если рассматривать очень разреженные газы, то в этих случаях законы термодинамики и расчёты «энтропии» не приемлемы. Следовательно, даже не все молекулярные системы можно оценивать энтропией Больцмана. **Границей применимости уравнения Больцмана являются системы доступные для корректных статистических расчётов.** Хотя взгляды Клаузиуса и Больцмана на энтропию (беспорядок) отличаются, но дают возможность её количественной оценки.

Несмотря на расплывчивость понятия «энтропия» в 20 веке стали рассуждать об энтропии любых макроскопических множеств и даже социальных систем. Некоторые философы решили, что **простая** формула Больцмана объясняет весь **сложный** Мир [4]. Это глубокое заблуждение.

Для более сложных систем количественного выражения энтропии нет. Отсутствие четких представлений о беспорядке делает рассуждения об энтропии малополезными. Энергетический подход Клаузиуса не раскрывает сущности поведения живых систем, т.к. в организмах преобладает информационное взаимодействие. Информация (знания) позволяет совершать работу при минимальном расходе энергии. И нет необходимости всю имеющуюся внутреннюю энергию переводить в работу. Сложные системы (особенно живые) отличаются высокой когерентностью взаимодействий элементов, управляемостью, внутренней координацией и ритми-

кой. Беспорядок в одних функциях может компенсироваться порядком в других. При наличии организованного управления нет необходимости действовать методом проб и ошибок, хотя такое поведение все же сохраняется в условиях полной неопределённости. Кроме того, живые системы функционируют только благодаря организованным взаимодействиям, что игнорируется уравнением Больцмана.

Порядок — это умопостигаемая часть объекта. Соотношение порядка и хаоса в сложной системе определяется субъектом, поэтому вывод зависит от его знаний и интеллекта. По этой причине наука наплодила множество казусов. Обычно хаотические явления ассоциируются со случайностью, непредсказуемостью, непознаваемостью. Объект, в котором невозможно увидеть порядок, считается хаотическим. Однако, что для одного — хаос, для другого может выглядеть порядком. Субъективный хаос явление временное, накопление знаний может перевести его в разряд познаваемых моделей. Например, представления о хаотическом состоянии газа были поколеблены Максвеллом. Теоретически и экспериментально было доказано, что движение молекул газа подчиняется определенному порядку, существует строгое распределение молекул (распределение Максвелла) на «холодные», «тёплые» и «горячие» [5]. Проявляется некоторая структура в их поведении.

Объективный хаос принципиально непознаваем, следовательно, не подлежит изучению (относится к области веры). Если объект можно описать, хотя бы частично (что и сделал Больцман), то он уже познаваемый, следовательно, не хаотичный.

Идея сложности и упорядоченности прасреды высказывалась Лейбницем (монады), и Анаксимандром (апейрон). Аналогичные идеи в наше время высказывал Д. Бом. «Я бы сказал, что не существует беспорядка, но этот хаос — это порядок бесконечно сложной природы».

Таким образом, не проводя количественных расчётов, субъективно рассуждать об энтропии сложной системы весьма рискованно. То, что одному кажется непознаваемым хаосом, другими оценивается как сложный порядок. Это явление происходит не только в сложных системах, но и в простых. Например, если небольшое количество жидкой воды в смеси с избытком льда поместить в термостат, то через некоторое время «хаотическая» вода замёрзнет, целиком превратится в упорядоченный лёд. При этом температура льда несколько возрастёт, т.е. амплитуда колебания атомов увеличится, но визуально это заметить невозможно [3]. Получается, что в некоторых случаях изолированная молекулярная система визуально стремится не к хаосу, а к порядку (лёд). В сложных системах разобраться, где хаос, а где порядок ещё сложнее.

Упорное нежелание отказаться от концепции энтропии указывает на потребность оценивать упорядоченность Мира. Где это было возможным, представления об энтропии продолжали развиваться. Такая потребность назрела в теории связи. Шеннон (1948 г.) в классических работах по теории информации (теории связи) ввел новое представление об энтропии [6]. **Неопределённость информации**, недостаток сведений о некотором объекте он назвал энтропией. Для расчета энтропии Шеннон предложил уравнение, напоминающее формулу Больцмана.

$$H = \sum P_i \cdot \log_2 \frac{1}{P_i} = - \sum P_i \cdot \log_2 P_i,$$

где H — энтропия Шеннона, P_i — вероятность некоторого события. Поясним примером. Текст сообщения принимается вместе с помехами, повышающими энтропию. **Если сигнал от передатчика дошёл до приёмника без искажений, то энтропия нулевая.** После отсева шумов энтропия сообщения снижается до нуля. Если сообщение вероятностное, то энтропия сохраняется. Энтропия информации максимальна при равновероятном исполнении исходов и равна нулю, если исход только один

Другой пример. Если информация передаётся сообщением, исключаяющим альтернативные толкования, то энтропия минимальна. Если приходит множество альтернативных сообщений, создающих неопределённость, и требуется выбор одного из них, то энтропия сообщения высокая.

Назвав свою функцию энтропией, Шеннон, тем не менее, предостерегал последователей от чрезмерного расширения области применения этого понятия. Но и в строгом математическом выражении энтропии Шеннона заложена субъективность. Прочтение информации возможно в том случае, если в памяти приёмника имеются знания о смысле передаваемых сигнала

лов. Если передача ведётся на понятном языке, то энтропию (неопределённость) можно свести к минимуму. Если ту же информацию передавать на непонятном языке, то энтропия сильно вырастет.

Сложилось четвертое, еще более общее представление об энтропии как о мере неупорядоченности и неопределенности поведения любой системы. Живые системы стремятся к заданной цели. Неопределенность движения к цели близка по смыслу энтропии Шеннона. Например, поведение человека трудно предсказуемо, т.к. зависит от множества факторов. Нам постоянно приходится бороться с энтропией, выбирая решение из альтернатив. После принятия решения энтропия минимизируется.

Рассмотрим ситуацию стрелок — мишень. Если стрелок поражает мишень с первого выстрела, то энтропия ситуации минимальна. Если потребовалось несколько выстрелов с разной степенью приближения к цели, то энтропия тем выше, чем больше потребовалось выстрелов. Но эта энтропия не имеет отношения к энтропии Больцмана, т.к. процесс стрельбы управляемый.

Организация Мира осуществляется триединными потоками Вещества, Энергии, Информации (ВЭИ потоки) [7]. Но законы термодинамики отражают Мир только с точки зрения превращения энергии, что для полной характеристики явно не достаточно. Нельзя понять сложное явление, опираясь на очень простые модели. Можно ли по срезу на пеньке дерева судить об организации кроны, форме листьев, запахе цветков? Можно ли описать архитектуру здания, зная только структуру кирпича?

Мировоззренческий хаос вокруг энтропии породил множество мифов в разных науках. Более ста лет рост энтропии связывается исключительно с разрушением, хаосом, с тепловой смертью Вселенной. Но согласно «стандартной» модели происхождения Вселенной хаос большого взрыва постепенно упорядочивался. Возникали звёзды, планеты, галактики. Жизнь на Земле из примитивных форм развивалась до разума. Предсказание тепловой смерти Вселенной не очевидно.

Даже в **закрытых** нелинейных системах может идти усложнение, возникает «порядок из хаоса» [8]. Например, Солнце, достаточно изолированная система, практически не связанная с другими далёкими звёздами. Самопроизвольный процесс жизненного цикла Солнца направлен от плазменного хаоса к состоянию нейтронной звезды (порядок) [9]. Из водорода и гелия осуществляется синтез более сложных элементов, следовательно, количество кинетических элементов уменьшается. Хаос переходит в порядок, а не наоборот [5].

Биологи стремятся доказать, что живые организмы постоянно уменьшают свою энтропию [10] и это есть главный признак жизни. Однако при этом повышается энтропия среды обитания. Это следует понимать так. Живое потребляет высокоупорядоченные ресурсы, а сбрасывает в окружающую среду нечто мало организованное. Докажем, что это стойкое заблуждение.

Академик В.И. Вернадский писал: «Энтропия Клаузиуса не имеет реального существования: это не факт бытия, это математическое выражение, полезное и нужное, когда оно даёт возможность выражать природные явления на математическом языке. Оно верно только в пределах своих посылок. Отклонение такого основного явления, каким является живое вещество в его воздействии на биосферу, отклонение от принципа Карно указывает, что жизнь не укладывается в посылки, установленные энтропией» [11].

Биологическая эволюция жизни на Земле изображается в виде эволюционного дерева. От одного корня дерево ветвится, возникают миллионы видов живых существ, множится разнообразие, не смотря на катастрофические массовые вымирания [9]. Но рост энтропии согласно теории должен сопровождаться гомогенизацией, снижением разнообразия элементов живой системы. Мы видим явление прямо противоположное.

Растения потребляют их атмосферы газы (CO_2), из почвы воду и некоторые микроэлементы. В окружающую среду они отдают газы (O_2 , CO_2 , H_2O , углеводороды) и рассеивают тепло. В первом приближении энтропия входных и выходных материальных потоков отличается мало (на входе газ и на выходе газ). Животные, потребляющие кроме газов и воды высокоорганизованную материю в виде белков, жиров, углеводов, трансформируют их в своём теле в продукты аналогичной сложности. В биосфере отходы одних организмов являются высококаче-

ственным питанием для других, поэтому ценные метаболиты организмов нельзя считать веществом неупорядоченным.

Более того, живое вещество по Вернадскому не упрощает косную материю, а множит разнообразие. Нефть, уголь, месторождения железа, бокситов, мела, известняка и многих других минералов созданы живым веществом. Поддержание состава кислородной атмосферы Земли, этого явно неравновесного состояния, также является результатом деятельности растений и микроорганизмов [9]. Таким образом, деятельность живого вещества не разрушает окружающую среду, но преобразует и множит разнообразие. Биосфера за сотни миллионов лет не погибла, выдержала катастрофы, умножала своё разнообразие и произвела человека. Разве это рост энтропии?

Но человек уменьшает разнообразие биосферы (рост энтропии), часто возражают оппоненты, и этим понижает её устойчивость. Этот факт уже осознан людьми. Человек управляет своим поведением, а это значит, может изменить отношение к природе. Хотя современный человек уменьшает разнообразие «дикой» биосферы, но при этом увеличивает разнообразие «культурной» биосферы (домашние животные и растения). Невероятно быстро растёт разнообразие техносферы, естественно входящей в понятие внешней среды для человека. Ноосферный человек может и не разрушать природу. Эта детская болезнь неизбежно пройдёт иначе человечество погибнет. Людям надо сменить цель своего существования. Отказаться от стремления к максимизации потребления и следовать целям выживания совместно с биосферой.

Оценивать энтропию только по разнообразию элементов системы не всегда корректно. Разнообразие системы прямо не связано с величиной её устойчивости. Устойчивый кристалл очень однообразен по своему химическому составу и структуре. Многие предприятия и организации общества стремятся оптимально уменьшить разнообразие персонала, чтобы снизить расходы на его содержание, но это только повышает устойчивость организации. Разнообразные по составу империи имеют тенденцию распадаться на более устойчивые, хотя и менее разнообразные государства.

Разнообразию и множеству элементов системы нужно, если происходит самоорганизация методом проб и ошибок. Если «работает» управление, то можно резко сократить излишние пробы. Древние живые организмы выживали за счёт избыточного воспроизведения потомства. Осётр вымётывает миллион икринок, из которых выживают несколько особей. Более развитые млекопитающие приносят несколько детёнышей, но управляют их развитием и выживанием.

Человек разрушает горные породы, но дезинтеграция не всегда является показателем роста энтропии. Если каменную глыбу распилить на блоки правильной формы, то это путь к порядку, а не хаосу. Человек разрушает горные породы, но создает из них строительные материалы и упорядоченные строения, использует песок и глину для создания более сложной композиции (бетон, кирпич).

Эволюция жизни направлена на возрастание управляемости, организованности (стрела эволюции). Множество вариантов исходов позволяет выбирать не случайные варианты, а оптимальные. Для этого должны быть критерии выбора и механизмы отбора. Именно эти механизмы понижения энтропии совершенствуются эволюцией.

Шкалы перехода от хаоса к порядку не существует. Любой упорядоченный объект содержит элементы хаоса. Мир, как слоёный пирог, содержит и хаотические, и упорядоченные подсистемы. Упорядоченные подсистемы выбирают путь развития на основе знаний. Хаотические пробы и ошибки остаются эффективным механизмом поиска решений в условиях неопределённости. Таким образом, энтропия как инструмент познания является некорректной научной категорией. Напоминает гадание на кофейной гуще.

Несмотря на сказанное, понятием «энтропия» оперируют в разных науках, следовательно, в этом есть какая — то потребность. Попытаемся понять это. В молекулярных системах в ряду: газ — жидкость — кристалл энтропия уменьшается. Визуально в этом ряду возрастает и способность сохранять структуру (форму). Газ стремится неограниченно расшириться и не имеет формы. Капля жидкости уже оформлена (сфера), но ещё не прочно. Кристалл представляет образец устойчивости. Живое вещество существует и сохраняет устойчивость, упорядоченность, но не вследствие понижения энтропии, а благодаря процессам управления. Итак, в случае с энтропией произошла подмена понятий, **под энтропией стали понимать меру устой-**

чивости системы.

Устойчивость неживых систем есть функция энергии связей и кинетической энергии всех видов движения элементов системы. Устойчивость живых систем — это функция энергии связей плюс способность к регенерации. Регенерация требует направленных действий (т.е. управления). Можно построить сооружение из очень прочных элементов, и оно простоит 100 лет. Но можно сделать то же из «слабых», но легко замещаемых элементов, осуществлять своевременную замену и сооружения также будут долговечными.

Всё живое построено из белковых, полимерных молекул — очень непрочного материала. Именно такой, пластичный материал оказался наиболее пригодным для эволюции. Непрочность, мобильность, плюс управление (регенерация) — это новый способ сохранения гомеостаза, (устойчивости). Оценить его с помощью энтропии невозможно. Учёным гуманитарной сферы следует отказаться от использования в «научных» рассуждениях малопонятным термином «энтропия».

Более надёжным методом оценки упорядоченности малопонятной системы является наблюдение за её эффективностью, адаптивностью, выживаемостью за длительный в эволюционном плане период времени.

Л и т е р а т у р а :

1. *Кузнецов Б.Г.* К истории применения термодинамики в биологии. // Тринчер К.С. Биология и информация. — М.: Мысль, 1965.
2. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. В 3-х т. — М.: Наука, 1979.
3. *Штеренберг М.И.* Проблема Бергаланфи и определение жизни. // Вопросы философии. — 1996. — №2.
4. *Седов Е.А.* Одна формула и весь мир. Книга об энтропии. — М.: Знание, 1982.
5. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Т. 1. — М.: Наука, 1982.
6. *Шеннон К.Э.* Математическая теория связи. Работы по теории информации и кибернетике. — М.: Мир, 1963.
7. *Попов В.П.* Организация. Тектология 21. — СПб.: Алетейя, 2014.
8. *Пригожин И., Стингерс И.* Порядок из хаоса. — М.: Иностранная литература, 1986.
9. *Дубнищева Т.Я.* Концепции современного естествознания. / Под ред. М.Ф. Жукова. — Новосибирск: ЮКЭА, 1997.
10. *Шредингер Э.* Что такое жизнь с точки зрения физика. — М.: Изд. Иностранная литература, 1947.
11. *Вернадский А.И.* Избранные сочинения. Т.1. — М.: Изд-во АН СССР, 1954.

Статья поступила в редакцию 25.02.2016 г.

Ропов В.Р.

The information is a fundamental natural science category

The different definitions of entropy and information are considerate. It is shown that a reliable method for evaluating of system ordering is monitoring for its effectiveness, adaptability, survivability over the long term in an evolutionary sense.

Key words: system, information, entropy, interaction, thermodynamics, chaos.